

Всероссийская научно-практическая конференция  
«Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения»

6. Санитарные правила и нормативы СанПиН 1.2.2584-10 «Гигиенические требования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов». – <http://base.garant.ru/12176082/>.
7. Справочник агронома по защите растений (под. ред. А.Ф.Ченкина). 3-е изд. перераб и доп. – М.: Россельхозиздат, 2014. – 352 с.
8. Химическая защита растений (под ред. Г.С.Груздева). – М.: Колос, 2015. – 376 с.

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ

Ш.С. Нозирзода, студент группы 10А41

Научный руководитель: Деменкова Л.Г., старший преподаватель кафедры БЖДЭиФВ ЮТИ ТПУ  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51)-777-64  
E-mail: [lar-dem@mail.ru](mailto:lar-dem@mail.ru)

*Аннотация. Статья посвящена применению электрохимической очистки воды. Дана характеристика четырёх компонентов электрохимической очистки воды. К ним относятся электролиз, электрофорез, электрофлотация и электрокоагуляция. Дана характеристика каждого из этих процессов. Обоснована возможность проведения электрохимической очистки воды в домашних условиях. На основе анализа литературных данных утверждается эффективность электрохимической очистки воды.*

*Abstract. The article is devoted to the application of electrochemical water treatment. The characteristic four components of electrochemical water treatment. These include electrolysis, electrophoresis, electroflotation and electrocoagulation. The characteristics of each of these processes. The possibility of carrying out electrochemical purification of water at home. Based on the analysis of the literature affirms the effectiveness of electrochemical water treatment.*

В современных условиях разработано большое количество различных технологий водоочистки, основанные на озонировании воды, её обработке УФ-излучением, ионном обмене, омагничивании и др. Большинство этих методов требует значительных материальных затрат на их проведение [4]. Одним из перспективных подходов в водоочистке является электрохимическая обработка воды (ЭХВ) при воздействии постоянного электрического тока.

Электрохимическая обработка воды состоит из ряда электрохимических процессов, в которых происходит перенос электронов и ионов под действием постоянного электрического поля: электролиза, электрофореза, электрофлотации и электрокоагуляции. Главным из этих процессов является электролитическое разложение воды. Под электрофорезом понимают процесс движения катионов под действием постоянного электрического поля к отрицательно заряженному электроду – катоду, а анионов – соответственно к положительно заряженному электроду – аноду. Электрофлотацией называется процесс образования агрегатов, в составе которых содержатся как пузырьки газа (на аноде – кислорода, на катоде – водорода), так и частицы примесей. Электрокоагуляция – осаждение из водного раствора примесей, образующих дисперсную фазу, в виде коллоидных частиц – мицелл.

При обработке воды внешним постоянным электрическим полем с потенциалом более 1,25 В, что соответствует потенциалу разложения воды (1,25 В), происходит переход воды в особое состояние, называемое метастабильным. Это состояние характеризуется аномальными значениями большинства количественных характеристик воды, к которым относятся, например, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, водородный показатель и др. [2]. При воздействии постоянного электрического поля на воду протекают электрохимические процессы, приводящие к окислительно-восстановительным реакциям, результатом которых является деструкция примесных веществ в воде, коагуляция веществ в коллоидном состоянии, флокуляция грубодисперсных частиц с дальнейшей флотацией.

Полученные при этом водные растворы, будучи электроактивированными (так называемые анолиты и католиты) могут быть достаточно широко использованы, в т.ч. в агроинженерии с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Кроме того, процесс электрохимической обработки воды может применяться для того, чтобы осветлять и обесцвечивать природные воды, уменьшать их жёсткость, очищать воду от примесей тяжелых металлов (двухзарядных ионов меди,

кобальта, кадмия, свинца, ртути), хлор- и фторсодержащих органических соединений, сточные воды промышленных предприятий – от нефтепродуктов, различных органических соединений, красителей, поверхностно-активных веществ, фенолов [2]. В качестве достоинств процесса электрохимической очистки воды можно отметить возможность корректировки кислотности воды, а также значения окислительно-восстановительного потенциала, которые определяют направление протекания химических реакций в водных растворах; изменяют ферментативную активность ила в аэротенках; влияют на процесс коагуляции с последующей седиментацией осадков органического происхождения [7]. Процесс электрохимической активации воды ещё в 1985 г. получил официальное признание со стороны ВАК СССР как кардинально новый класс физико-химических явлений и рекомендован к широкому внедрению в промышленном производстве [5].

Электролиз воды является главной стадией процесса по электрохимической обработке воды. Схема типовой установки для электролиза воды приведена на рисунке 1.

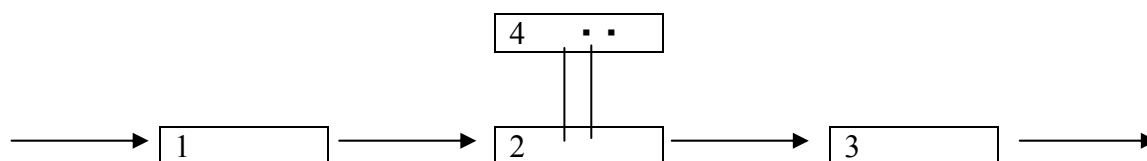


Рис. 1. Схема установки для электрохимической обработки воды: 1 – блок водоподготовки, 2 – электролизёр, 3 – блок доочистки воды, 4 – выпрямитель электрического тока

Когда сквозь объём воды пропускают постоянный электрический ток, происходят окислительно-восстановительные реакции на электродах – катоде и аноде. При этом происходит образование новых веществ, изменение состава и структуры воды [4]. Для оптимизации процесса электролиза воды некоторые установки содержат в блоке водоподготовки оборудование для механической очистки воды, что снижает возможность порчи электролизёра вследствие попадания грубодисперсных примесей, имеющих большое сопротивление. Такое оборудование особенно необходимо в том случае, когда в процессе ЭХВ происходит насыщение раствора хлопьями примесей (в результате электрокоагуляции коллоидных растворов выпадают осадки гидроксидов алюминия, железа (III), магния).

Электролизёр может содержать одну или несколько электролизных ячеек, каждая из которых состоит из электродов – катода и анода, присоединенных к источнику постоянного тока. В пространстве между электродами находится вода – слабый электролит. При работе электролизёра заряженные частицы переносятся к противоположно заряженным электродам, т.е. происходит электрофорез. На поверхности электродов идёт деполяризация перенесённых ионов с образованием продуктов распада. В электрофорезе принимают участие другие полярные частицы – примеси в воде, тем не менее определяющее значение имеют подвижные ионы, образующиеся при диссоциации воды. В качестве продуктов реакций, протекающих на электродах, выделены частицы примесей,  $H_2$  (на катоде),  $O_2$  (на аноде),  $Cl_2$ , ряд катионов, в т.ч. железа (II), железа (III), алюминия (если используются алюминиевые или стальные аноды) и др.

Механизм процесса электролиза воды общеизвестен и приведён во всех учебниках и учебных пособиях. Приведём основные реакции:

на катодной поверхности в кислой среде происходит процесс по схеме  $H_3O^+ + e^- \rightarrow H + H_2O$ ;  
в щелочной среде процесс выражается схемой  $H_2O + e^- \rightarrow H + OH^-$ ;  
атомарный водород рекомбинируется до молекул по схеме  $H + H \rightarrow H_2$ ;  
на аноде выделяется кислород, в кислой среде по схеме  $2H_2O - 4e^- \rightarrow O_2 + 4H^+$ ;  
в щелочной среде по схеме  $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$ .

Некоторые из продуктов реакций вступают в химическое взаимодействие как друг с другом, так и с веществами-примесями, содержащимися в пространстве между электродами, и способствуют процессам доочистки воды за счёт электрофлотации и электрокоагуляции [6], происходящих не на электродных поверхностях, а внутри, в толще воды. Эти процессы усиливаются при повышении температуры и увеличении водородного показателя раствора в межэлектродном пространстве [2].

Процесс электролиза воды можно осуществить не только в промышленных, но и в бытовых условиях, применяя для этого различные разновидности электролизёров, например «Изумруд», БСЛ-МЕД-1 (ЭКСВО) (рисунок 2).

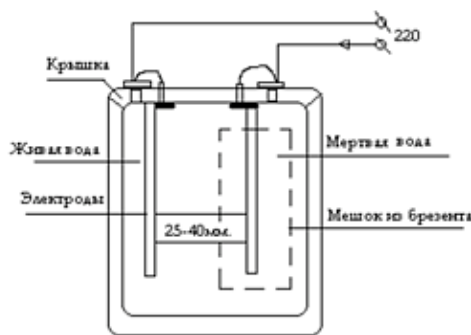


Рис. 2. Схема электролизера, пригодного для использования в домашних условиях [7]

Прибор состоит из электролизной ячейки, включающей катод и анод, которые отделены друг от друга полупроницаемой перегородкой (мембраной), которая разделяет воду на две фракции – католит и анолит, отличающиеся по физико-химическим свойствам. У католита  $\text{pH} > 7$ , эта жидкость прозрачна или имеет незначительный белый осадок, поверхностное натяжение, окислительно-восстановительный потенциал и концентрация кислорода ниже, электропроводность меньше, чем у воды, в состав могут входить частицы  $\text{NaOH}$ ,  $\text{HO}_2^-$ ,  $\text{OH}^-$  (при  $\text{pH} > 9$ ) и частицы  $\text{O}_2$ ,  $\text{HO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$  (при  $\text{pH} = 9$ ) [4]. Установлено, что по действию на живые организмы католит обладает выраженным антибактериальным действием [1]. У анолита  $\text{pH} < 7$ , цвет жидкости коричневый, окислительно-восстановительный потенциал и электропроводность выше, чем у воды, концентрация растворённых в воде кислорода и хлора выше, структура анолита отличается от структуры католита и от структуры воды [7]. В соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 анолит входит в четвёртый класс веществ, обладающих малой опасностью [3]. Установлено, что нагревание до  $50^\circ\text{C}$  увеличивает бактерицидную активность анолитов в 1,5–2 раза [1]. Анолиты могут иметь следующий качественный компонентный состав:  $\text{HClO}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{HO}^\cdot$ ,  $\text{ClO}^\cdot$ ,  $\text{HO}_2^\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}^\cdot$ ,  $\text{HClO}_2$  [2]. Ряд исследований свидетельствует о полезном влиянии анолита и католита на здоровье человека (так называемая «живая» и «мёртвая» вода) [5].

Анализ литературных данных по электрохимической очистке воды позволил прийти к выводу, что данный процесс имеет ряд преимуществ перед существующими химическими, механическими, биологическими способами обработки и очистки воды: эффективность, устойчивость, контролируемость, удобство автоматического регулирования процесса, конструкционная простота. Производимые в России в настоящее время установки (например, УЭ ГПХН) имеют компактные размеры, надёжны, просты в эксплуатации, автоматизируемы. Однако процесс ЭХВ требует высоких затрат энергии и большого расхода стали на растворимые аноды, следовательно, этот процесс может быть выгодным для небольших установок и в домашних условиях. Кроме того, при использовании многоступенчатой очистки воды ЭХВ может быть реализована в качестве одной из стадий.

#### Литература.

1. Барабанов В.А. Новая технология очистки воды // Наука и жизнь. – № 8. – 2014. – URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/13347/>.
2. Бахир В.М. Электрохимическая активация. История, состояние, перспективы / В.М. Бахир. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – 256 с.
3. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-007-76-ssbt>.
4. Красавцев Б.Э. Промышленные установки для электрохимической активации воды // Научный журнал КубГАУ. – № 110 (06). – 2015. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/53.pdf>.
5. Лепеш Г.В. Исследование сущности электрохимического процесса, как технологической составляющей очистки воды / Г.В. Лепеш, Е.И. Грицай, В.А. Хотулёв // ТТПС. – №2 (24). – 2013. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-suschnosti-elektrohimicheskogo-protssesa-kak-tehnologicheskoy-sostavlyayuschey-ochistki-vody> (дата обращения: 04.10.2016).
6. Мосин О.В. Электрохимическая очистка воды // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – № 12. – 2012. – URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/electrohimicheskaya-obrabotka-vody>.
7. Очистка производственных сточных вод: Учебное пособие для студентов вузов/Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. М.: Стройиздат, 2014. – 320 с.